

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-258454

(P2007-258454A)

(43) 公開日 平成19年10月4日(2007.10.4)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1F 1/14 (2006.01)	HO1F 1/14 Z	5E041
HO1F 27/24 (2006.01)	HO1F 27/24 C	5E062
HO1F 41/02 (2006.01)	HO1F 41/02 A	
C22C 38/00 (2006.01)	C22C 38/00 303V	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2006-81062 (P2006-81062)
 (22) 出願日 平成18年3月23日 (2006.3.23)

(71) 出願人 000005083
 日立金属株式会社
 東京都港区芝浦一丁目2番1号
 (72) 発明者 吉沢 克仁
 埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株式会社先端エレクトロニクス研究所内
 (72) 発明者 太田 元基
 埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株式会社先端エレクトロニクス研究所内
 Fターム(参考) 5E041 AA02 BD03 CA02 NN01
 5E062 AA02 AB15

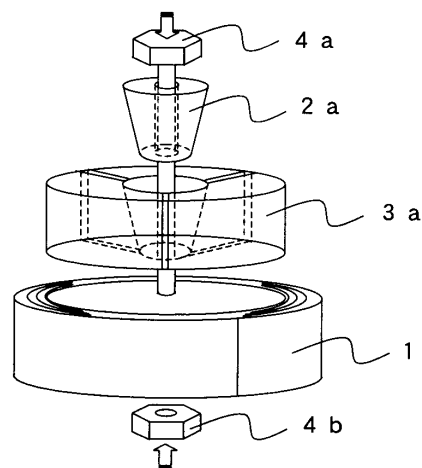
(54) 【発明の名称】 閉磁路磁心およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高飽和磁界・高占積率であるナノ結晶合金からなる閉磁路磁心およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 組成が $Fe_{100-a-b-c}M_aSi_bB_c$ (原子%) で表されるアモルファス合金材料を巻き回して巻磁心とし、この巻磁心の周側面に5MPa以上500MPa以下の圧力を印加しながらナノ結晶化のための熱処理を行ない、飽和磁界が200A/m以上であり、占積率が80%以上の閉磁路磁心を製造する。前記閉磁路磁心は巻磁心であることが好ましい形態である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

Fe 基ナノ結晶合金材料からなる閉磁路磁心であって、前記磁心の飽和磁界が200 A/m以上であり、占積率が80%以上であることを特徴とする閉磁路磁心。

【請求項 2】

前記閉磁路磁心が巻磁心であることを特徴とする請求項 1 に記載の閉磁路磁心。

【請求項 3】

前記ナノ結晶合金材料の組成が $Fe_{100-a-b-c}M_aSi_bB_c$ (原子%) で表され、 $0 < a < 10$ 、 $0 < b < 20$ 、 $2 < c < 15$ 、 $9 < a+b+c < 35$ および不可避不純物からなり、ここでMはTi、V、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選ばれた少なくとも1種の元素であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の閉磁路磁心。 10

【請求項 4】

Feの3原子%以下をCu、Auから選ばれた少なくとも1種の元素で置換したことを特徴とする請求項 3 に記載の高飽和磁界・高占積率ナノ結晶合金磁心。

【請求項 5】

Si量bが $8 < b < 17$ 、B量cが $5 < c < 10$ であることを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 に記載の高飽和磁界・高占積率ナノ結晶合金磁心。

【請求項 6】

Feの5原子%以下をCo、Niから選ばれた少なくとも1種の元素で置換したことを特徴とする請求項 3 乃至請求項 5 のいずれかに記載の閉磁路磁心。 20

【請求項 7】

SiとBの総量の50%以下をAl、P、Ga、Ge、Beから選ばれた少なくとも1種の元素で置換したことを特徴とする請求項 3 乃至請求項 6 のいずれかに記載の閉磁路磁心。

【請求項 8】

Mの50%以下をCr、Mn、Zn、As、Se、S、O、N、Sb、Sn、In、Cd、Ag、Bi、Mg、Sc、Re、白金族元素、Y、希土類元素から選ばれた少なくとも1種の元素で置換したことを特徴とする請求項 3 乃至請求項 7 のいずれかに記載の閉磁路磁心。

【請求項 9】

アモルファス合金材料からなる閉磁路磁心の周側面に圧力を印加しながらナノ結晶化のための熱処理を行ない、磁心材の飽和磁界Hsが200 A/m以上であり、占積率が80%以上とすることを特徴とする閉磁路磁心の製造方法。 30

【請求項 10】

閉磁路磁心の周側面および閉磁路磁心の上下面に圧力を印加することを特徴とする請求項 9 に記載の閉磁路磁心の製造方法。

【請求項 11】

閉磁路磁心外周側から内周方向に圧力をかけ抑止することが可能な固定部材を配置し、その状態で閉磁路磁心の内周側から外周方向に圧力を印加しながら熱処理することを特徴とする請求項 9 に記載の閉磁路磁心の製造方法。

【請求項 12】

前記熱処理の工程において、前記閉磁路磁心を熱膨張係数の異なる治具に装着し、閉磁路磁心と治具の熱膨張の差を利用して治具から閉磁路磁心に圧力を印加することを特徴とする請求項 9 乃至請求項 11 に記載の閉磁路磁心の製造方法。 40

【請求項 13】

閉磁路磁心の周側面に印加する圧力は、5 MPa以上500 MPa以下であることを特徴とする請求項 12 に記載の閉磁路磁心の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、Fe 基ナノ結晶合金を用いたトランス、チョークコイル、センサ等の各種磁性部品に好適な高飽和磁界・高占積率の閉磁路磁心とその製造方法に関する。 50

【背景技術】

【0002】

直流が重畳する平滑チョークコイルなどの用途、高電圧パルス状の電圧が印加される、パルストランスやコモンモードチョークなどの用途や各相の電流にアンバランスが生ずるような用途に用いられる磁心材料には、B-Hループが飽和しやすく透磁率が高い材料は磁氣的に飽和してしまうため、使用が困難であり、飽和磁束密度が高く、飽和磁界の大きい比較的透磁率の高い磁心材料および磁心が望ましい。

このような用途の磁心には、従来パーマロイ、FeAlSi、珪素鋼、鉄などの圧粉磁心や、珪素鋼板、アモルファス合金、ナノ結晶合金からなる環状磁心の一部にギャップを形成し、実効的な透磁率を低下させた飽和磁界の大きい磁心が用いられている。

10

しかし、圧粉磁心は磁心損失が大きい問題がある。また、ギャップを形成した珪素鋼、アモルファス合金やナノ結晶合金磁心は材料磁心の磁心損失が低い材料を用いても、ギャップ部分で磁界が漏れる際に合金帯に面内渦電流が発生し損失が著しく増加する問題がある。

ナノ結晶合金は、高飽和磁束密度でかつ高透磁率や低磁心損失など優れた軟磁気特性を示すため、コモンモードチョークコイル、高周波トランス、漏電警報器、パルストランスや磁気スイッチ等の磁心に使用されている。例えば、代表的組成系は特許文献1や特許文献2に記載のナノ結晶合金系等が知られている。これらのナノ結晶合金は、通常液相や気相から急冷し非晶質合金とした後、これを熱処理により微結晶化することにより作製されている。液相から急冷する方法としては単口ル法、双口ル法、遠心急冷法、回転液中紡糸法、アトマイズ法やキャピテーション法等が知られている。また、気相から急冷する方法としては、スパッタ法、蒸着法、イオンプレティング法等が知られている。ナノ結晶合金はこれらの方法により作製した非晶質合金を微結晶化したもので、非晶質合金にみられるような熱的不安定性がほとんどなく、高飽和磁束密度、低磁歪で優れた軟磁気特性を示すことが知られている。

20

【0003】

ナノ結晶合金は、磁界中熱処理によりB-Hループの形状を変化させることができるが、Fe基ナノ結晶合金の場合、磁界中熱処理では誘導磁気異方性を大きくすることが困難であり、大きな飽和磁界を実現することはできない。Coを含む場合は誘導磁気異方性を大きくすることが知られているが、大きな誘導磁気異方性を実現するためには多量にCoを添加しなければならず、低コストが要求される用途への適用は困難である。

30

【0004】

そこで、アモルファス合金を結晶化してナノ結晶合金を得るための熱処理工程で、熱処理工程の間に合金薄帯へ応力を印加して磁気異方性を付与することが提案されている。このような技術は、特許文献3のような特許や、T. Yanai 等によるJ. Magn. Mater., 290-291 (2005) 1502-1505.のような論文に開示されている。ここでは、平均結晶粒径が100nm以下である結晶粒が組織の少なくとも一部を占めるナノ結晶合金をアモルファス合金巻線磁心、積層磁心、圧粉磁心等の磁心を結晶化させる際の熱処理工程において、熱処理工程の間に合金薄帯へ応力を印加することにより、B-Hループが傾斜した高飽和磁界のナノ結晶軟磁性合金薄帯が得られることが記載されている。

40

【特許文献1】特公平4-4393号公報(第5頁右欄31行目~43行目、図1)

【特許文献2】特開平1-242755号公報(第3頁左上欄15~右上欄5行目)

【特許文献3】特開平8-67911号公報((0009))

【非特許文献1】第J. Magn. Mater., 290-291 (2005) 1502-1505.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、実際に部品に使用する場合は巻磁心や積層磁心で使用される場合がほとんどであり、合金薄帯の長手方向に張力を印加して熱処理を行なう前記プロセスでは、その後に合金薄帯を磁心状に巻こうとしても、合金薄帯が熱処理で脆化しているために巻くことが

50

非常に困難となる。また、脆化した合金薄帯は張力を印加して巻くと破断するため、巻く際の張力を大きくできず磁心の占積率が低下する問題がある。積層磁心の場合も同様に熱処理後に積層する際に圧力をかけながら積層すると材料が破断するため、大きな圧力をかけられず磁心の占積率が低下する問題がある。このような占積率の低下は、磁心の大型化を招くため好ましくない。

したがって、熱処理前のアモルファス状態の合金薄帯を巻き回しあるいは積層した後に、熱処理を行ない、高飽和磁界・高占積率のナノ結晶合金磁心を実現する必要がある。

【0006】

そこで、本発明では、高飽和磁界・高占積率であるナノ結晶合金からなる閉磁路磁心およびその製造方法を提供することを課題とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明により提供する閉磁路磁心は、Fe基ナノ結晶合金材料からなる閉磁路磁心であって、前記磁心の飽和磁界が200 A/m以上であり、占積率が80%以上であることを特徴とする。閉磁路磁心は、巻磁心であることが好ましい。

【0008】

このナノ結晶合金材料は、組成が $Fe_{100-a-b-c}M_aSi_bB_c$ (原子%) で表され、 $0 < a < 10$ 、 $0 < b < 20$ 、 $2 < c < 15$ 、 $9 < a+b+c < 35$ および不可避不純物からなり、ここでMはTi、V、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選ばれた少なくとも1種の元素であることが好ましい。また、Si量bが8 < b < 17、B量cが5 < c < 10であることがさらに好ましい。

20

【0009】

上記ナノ結晶合金材料の組成は、Feの3原子%以下をCu、Auから選ばれた少なくとも1種の元素で置換した組成でもよい。3原子%より多いと飽和磁束密度、透磁率の著しい低下をもたらす好ましくない。また、Feの5原子%以下をCo、Niから選ばれた少なくとも1種の元素で置換した組成でもよい。

さらに、上記ナノ結晶合金材料の組成は、SiとBの総量の50%以下をAl、P、Ga、Ge、Beから選ばれた少なくとも1種の元素で置換した組成でもよいし、Mの50%以下をCr、Mn、Zn、As、Se、S、O、N、Sb、Sn、In、Cd、Ag、Bi、Mg、Sc、Re、白金族元素、Y、希土類元素から選ばれた少なくとも1種の元素で置換した組成でもよい。

【0010】

これらの閉磁路磁心を提供するために、アモルファス合金材料からなる閉磁路磁心の周側面に圧力を印加しながらナノ結晶化のための熱処理を行ない、磁心材の飽和磁界Hsが200 A/m以上であり、占積率が80%以上とする手段を採用することが好ましい。閉磁路磁心の周側面および閉磁路磁心の上下面に圧力を印加することがさらに好ましい。閉磁路磁心の占積率は85%以上、さらには88%以上、さらには90%以上とすることも可能である。

30

【0011】

圧力の印加手段として、閉磁路磁心外周側から内周方向に圧力をかけ抑止することが可能な固定部材を配置し、その状態で閉磁路磁心の内周側から外周方向に圧力を印加しながら熱処理する印加手段、前記熱処理の工程において、前記閉磁路磁心を熱膨張係数の異なる治具に装着し、閉磁路磁心と治具の熱膨張の差を利用して治具から閉磁路磁心に圧力を印加する印加手段などが適用できる。これらの閉磁路磁心の周側面に印加する圧力は、5 MPa以上500 MPa以下であることが好ましい。閉磁路磁心の周側面に印加する圧力が5 MPa未満であると、占積率を高める効果が得にくく、逆に500 MPaを超えると、熱処理中のクリープ現象により治具が変形する恐れがある。より好ましい閉磁路磁心の周側面に印加する圧力は、10 MPa以上100 MPa以下である。

40

【0012】

さらに具体的な製造方法として、閉磁路磁心と周側面で接する少なくとも一箇所にスリットが入った環状部材と、前記環状部材と接する駆動部材と、前記環状部材および駆動部材よりも熱膨張率の低い材質で、かつ前記環状部材および駆動部材を磁心の軸方向外側か

50

ら抑止することが可能な固定部材を配置し、閉磁路磁心の内周面および閉磁路磁心の外周面に圧力を印加する製造方法が採用できる。

【0013】

また、高温化で各部材が熱膨張するにつれ、前記固定部材から前記駆動部材及び環状部材へ与える磁心軸方向の圧力が増大して両部材が近づくよう構成されているとともに、前記環状部材が磁心の周側面に与える圧力が高くなるよう構成されている治具により閉磁路磁心の内周面および閉磁路磁心外周面に圧力を印加する製造方法が採用できる。

【0014】

また、上記の環状部材は、磁心の軸方向に対して傾斜したテーパ面が形成され、テーパ面で前記駆動部材と接しているものが採用できる。また、上記の駆動部材は、磁心の軸方向に対して傾斜したテーパ面が形成され、テーパ面で前記環状部材と接しているものが採用できる。

10

【0015】

また、環状部材が、磁心の内周面側と外周面側のそれぞれに配置されるものが好ましい。

【0016】

また、環状部材もしくは駆動部材のテーパ面は、円筒状もしくは円錐状であり、かつその表面に螺旋状の溝が形成されているものが好ましい。

【0017】

他の製造方法として、前記磁心の軸方向両側に配置される略板状の駆動部材と、前記駆動部材よりも熱膨張率の低い材質で、かつ前記駆動部材を磁心の軸方向外側から抑止することが可能な固定部材とを具備している治具により閉磁路磁心の内周面および閉磁路磁心の外周面に圧力を印加する製造方法が採用できる。

20

【0018】

低い熱膨張の部品材料にはインバー合金等やMo, W, CuWなど、熱処理を施す温度範囲において、熱膨張係数の平均が数 10^{-6} K^{-1} 程度以下のものまたは熱膨張係数が負のものを用いるのが好ましい。高い熱膨張の部品材料にはステンレス等の平均の熱膨張係数が 10^{-5} K^{-1} 以上のもを用いるのが好ましい。熱膨張係数の差が大きいほど、機構が作動したときに与えられる変位は大きく、温度サイクルが大きいほど同様に変位が大きくなる。圧力印加時には治具にも非常に大きな圧力が働くことが予想できるので、低熱膨張、高熱膨張の各部品の材料は、熱に対する軟化が小さいものが好ましい。低熱膨張、高熱膨張の各部品の材料には、用途に合わせて、マルテンサイト相変態等の構造相変態における大きな変位を利用することもできる。

30

【0019】

治具は、巻磁心に圧力を与え、磁気異方性を付加し、磁化曲線の形を変形させることを目的としているが、例えば、薄帯を積層する場合の接着剤の高温での乾燥時に圧縮応力を付加することや、磁心を変形させたい場合等、磁心の厚さ方向、もしくは軸方向に応力を付加させたい場合にも応用が可能である。

【0020】

治具を用いた熱処理を行なうことにより磁場中熱処理を行なわなくとも恒透磁率性に優れた傾斜したB-Hループを示すナノ結晶磁性合金を得ることができる。このようなナノ結晶磁性合金はセンサや、トランス、チョークコイル用材料等に好適である。しかし、磁場中熱処理を同時に施すことにより、磁心により大きな異方性を付加することができる場合もあり、用途に適合した使用が可能である。

40

【0021】

前記のアモルファス合金薄帯を本発明の製造方法を適用して熱処理することで、磁気特性を改良させた平均結晶粒径が100nm以下である結晶粒が組織の少なくとも一部を占めるナノ結晶合金が得られる。好ましくは50nm以下、より好ましくは30nm以下である。また上記合金は超微細なbccFe結晶粒を主体とする合金であり、bcc相はSi等を固溶しており規則格子を形成する場合もある。また、一部Fe-B化合物相を形成する場合もある。微細な結晶

50

粒の残部は主にアモルファス相である。

【0022】

Fe系の合金、化合物およびアモルファスの磁氣的性質は、外部応力に対して敏感である。これは、特に自発体積磁歪や強制体積磁歪などの磁気体積効果や磁気弾性効果が非常に顕著であることに起因する。熱処理中には合金薄体に、大きな応力が加わる。常温に戻ると、結晶粒間もしくは析出した結晶粒と母相の間などに残留応力が加わり、局所的に磁気弾性効果が働き、結晶磁気異方性の起源となることが考えられる。また、熱処理時に応力を受けることにより、結晶粒や母相が変形して、形状磁気異方性の起源となることも考えられる。この様な効果がどのように現れるかは、組成および熱処理温度によるところが大きく、場合によっては恒透磁率が増加したり、B-H曲線の角形性が改善したりすることもある。

10

【0023】

ナノ結晶合金材料の組成において、M'の含有量yは0~10原子%である。10原子%を越えると飽和磁束密度の著しい低下を招く。少なすぎると結晶粒微細化の効果が不十分であるため、好ましいM'の含有量yは0.1~8原子%である。Ti,Zr,Nb,Mo,Hf,Ta及びW等を添加すると結晶粒が微細化され、軟磁気特性が向上する。Nb,Mo,Taは特に効果が大きい。これらの元素の中でNbを添加した場合特に結晶粒が細くなりやすく、軟磁気特性も優れたものが得られる。

【0024】

Cu,AuとTi,Zr,Nb,Mo,Hf,Ta及びW等との複合添加により透磁率が上昇する理由は明らかではないが次のように考えられる。Cu,AuとFeの相互作用パラメータは正であり、分離する傾向があるため、非晶質状態の合金を加熱するとFe原子同志またはCu,Au原子同志が寄り集まり、クラスターを形成するため組成ゆらぎが生ずる。このため部分的に結晶化しやすい領域が多数でき、そこを核として多数の微細結晶粒が形成される。この結晶粒はFeを主成分とするものであり、FeとCu,Auの固溶度はほとんどないため、結晶粒周辺のCu,Au濃度が高くなる。また、この結晶粒の周辺はSi等が多くTi,Zr,Nb,Mo,Hf,Ta及びW等が存在する場合結晶化しにくいと結晶粒は成長しにくいと考えられる。このため結晶粒は微細化されると考えられる。このように結晶粒が微細化されることにより、結晶磁気異方性がみかけ上相殺されること、結晶相がbcc構造のFe固溶体が主体であり磁歪が小さく、内部応力-歪によりB-H曲線の角形性の向上が期待される。

20

30

【0025】

Cr,Mn,Sn,Zn,Ag,In,白金元素,Mg,Ca,Sr,Y,希土類元素,N,OおよびSからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素は耐食性を改善する、磁気特性を改善する、もしくは磁歪を調整する等の効果を有するものであるが、その含有量はMの50%以下が好ましい。これらの元素の中でRu,Rh,Pd,Os,Ir,Pt,Crから選ばれる少なくとも1種の元素をMの10原子%以下含む場合は耐食性、耐摩耗性に優れ、比較的飽和磁束密度が高いものが得られる。

【0026】

Si及びBは、合金の微細化に特に有用な元素である。本発明のFe基軟磁性合金は好ましくは、一旦Si,Bの添加効果により非晶質合金とした後で熱処理により微細結晶粒を形成させることにより得られる。Siの含有量cが20原子%より多いと飽和磁束密度の著しい減少および軟磁気特性の劣化が起こりやすい。Siの含有量cが少ないすぎても上記の効果が薄れるため、好ましいSiの含有量cは8~17原子%である。また、Bの含有量dが2原子%より少ないと結晶粒微細化の効果が薄れ、15原子%より多いと飽和磁束密度の減少と軟磁気特性の劣化が起こりやすい。好ましいBの含有量cは5~10原子%である。

40

【0027】

SiとBの総量の50%以下をAl,P,Ga,Ge,Beからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素で置換した組成でもよい。これらの元素は非晶質化に有効な元素であり、Si,Bと共に添加することにより合金の非晶質化を助けると共に、磁歪やキュリー温度調整に効果がある。

【0028】

50

残部は不純物を除いて実質的にFeが主体であるが、Feの5原子%以下はCo, Niにより置換されていても良い。5原子%を越えると、透磁率が低下する場合がある。Coは高価であるが飽和磁束密度を上昇させる効果があり、高保磁力記録媒体に使用する磁気ヘッド用合金や平滑チョークコイル、低周波用トランス材としてより有利である。

【0029】

特に高周波の用途に対しては板厚が $1\mu\text{m}$ から $15\mu\text{m}$ の範囲にあるナノ結晶合金薄帯が適している。本発明合金は必要に応じて層間絶縁が行われる場合がある。層間絶縁はたとえば SiO_2 , MgO , Al_2O_3 の粉末や膜を用いることができるがこれに限定されるものではない。これは特に高周波における渦電流の影響を低減し、透磁率や磁心損失を改善するのに有効である。また、表面に熱膨張係数の異なる皮膜を形成し熱処理の際合金に応力が発生するような状態にしても本発明と同様な効果を得ることができる。

10

【発明の効果】

【0030】

本発明では、閉磁路磁心の周側面に所定の圧力を印加して製造したことで、Fe基ナノ結晶合金材料からなる閉磁路磁心として、従来よりも飽和磁界および占積率が高いものが提供できた。磁場中熱処理を行わなくとも恒透磁率性に優れた傾斜したB-Hループを示す閉磁路磁心とできるため、容易に製造可能である。

また、本発明の製造方法は、従来、トランス、チョークコイル、センサ等の各種磁性部品の用途に符合した恒透磁率を得るために、磁心にギャップを設けていたことを、ギャップを設けることなく圧力で恒透磁率を制御するため、ギャップが存在することによる漏れ磁束、損失等を大きく低減することができ、省エネルギー、高効率、低ノイズ、信頼性向上等の効果が得られる。また、本発明の製造方法では、磁気特性の改善だけでなく、表面に接着剤を塗布した合金薄帯を磁心状に巻き回した後に熱処理を施すこともでき、接着力の強化が図れる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

(実施例1)

以下本発明を実施例にしたがって説明するが本発明はこれらに限定されるものではない。

原子%でCu1%, Nb3%, Si15.5%, B6.5%残部実質的にFeからなる合金溶湯をCu製の単口ルを用いて急冷し、幅5mm厚さ $18\mu\text{m}$ のアモルファス合金薄帯を得た。このアモルファス合金薄帯を磁心状に巻き回し、内径15mm、外形19mmの磁心を作製した。

30

この磁心を下記の治具に取り付けて熱処理を行った。治具の形状を図1に示す。図1中、1がアモルファス合金薄帯を巻き回した磁心である。2aは駆動部材であり、頂点部分がない略円錐状の形状で、かつ軸方向には貫通した穴が形成されている。また、この駆動部材は磁心の合金薄帯よりも高い熱膨張係数を有する材料で形成されている。3aは環状部材であり、内周側には駆動部材2aと勘合するようにテーパ面が形成されている。また、径方向にスリットが3ヶ所設けられており、環状部材に駆動部材が近づくほど環状部材3aが押し広げられ、実質的に外径が大きくなるように形成されている。環状部材3aの外径は、磁心1の内径よりも若干小さい寸法に形成され、JIS規格で規定される鋼材SU S304で製造され、熱膨張係数は約 $16 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ である。また、駆動部材2aと環状部材3aの中心部を貫通するように、ボルト状の固定部材4a、ナット状の固定部材4bが備えられる。固定部材4aは、駆動部材2aと環状部材3aよりも低い熱膨張係数を有するMoで形成され、熱膨張係数は約 $5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ である。

40

まず、環状部材3aを磁心1の内径側に挿入した。その後、環状部材3aの内側のテーパ面と、駆動部材2a側面のテーパ面が対向するように両部材を組合せた。その後、固定部材4aの先端側を環状部材3aと駆動部材2aの中心部に貫通させ、最後にナット状の固定部材4bを固定部材4aの先端側に螺着させた。この両固定部材4a, 4bにより駆動部材2aと環状部材3aを軸方向の両側から抑え、離れないように固定した。

この治具に磁心を装着した状態で熱処理を行った。熱処理は治具の熱容量による昇温効

50

率も考慮に入れて、Ar雰囲気中、熱処理の初期段階に480で1時間保持した後、530で0.5時間保持し、その後炉冷を行った。高温化に置かれると、駆動部材2aと環状部材3aは熱膨張により軸方向に離れようとするが、低熱膨張部材である固定部材4a、4bにより両端を固定されているため、両部材の重心は徐々に近づいていく。そのため、スリットの入った環状部材3aは、内側から駆動部材2aにより押され、徐々に広がっていく。これにより、磁心1の内周面に10MPa～40MPaの圧力がかかり、磁心1が押し広げられる状態になる。

このようにして得られた合金の組織は約12nmの平均粒径の結晶粒により占められ、かつ(表1)に示すように上記の治具を使用しない場合の磁心と比較した場合、B-Hループが傾斜した磁気特性のものが得られ、熱膨張差が生じる経路差が大きく、印加される圧力が大きいほど、飽和磁界が高くなる。

上記実施例で作成した本発明の閉磁路磁心は、飽和磁界が224A/mであり、占積率は90.2%であった。また、表3には、別の合金組成のFe基ナノ結晶合金を用いた時の飽和磁界を示す。

【0032】

【表1】

熱膨張差が生じる経路 (mm)	0	30	100
コア周側面に印加する圧力(MPa)	0	5	65
飽和磁界 (A/m)	100以下	200	800

【0033】

【表2】

	飽和磁界 (A/m)	占積率 (%)
実施例1	224	90.2
実施例2	485	91.1
実施例3	507	91.4
実施例4	803	92.0
実施例5	1281	92.9

【0034】

10

20

30

【表 3】

	組成(at%)	飽和磁界 (A/m)
実施例 1-1	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{15.5}\text{B}_{6.5}\text{Nb}_3$	224
実施例 1-2	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Ti}_1$	217
実施例 1-3	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{W}_5\text{V}_1$	211
実施例 1-4	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{16}\text{B}_8\text{Mo}_5\text{Mn}_1$	221
実施例 1-5	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{17}\text{B}_7\text{Nb}_5\text{Ru}_1$	220
実施例 1-6	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_{10}\text{Ta}_3\text{Rh}_1$	205
実施例 1-7	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Zr}_3\text{Pd}_1$	213
実施例 1-8	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.5}\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Hf}_3\text{Ir}_1$	216
実施例 1-9	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_2\text{Si}_{16}\text{B}_8\text{Nb}_3\text{Pt}_1$	219
実施例 1-10	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{1.5}\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Nb}_5\text{Au}_1$	217
実施例 1-11	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{0.5}\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Zn}_1$	211
実施例 1-12	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{1.5}\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Mo}_1\text{Sn}_1$	212
実施例 1-13	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_{2.5}\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Ta}_1\text{Re}_1$	209
実施例 1-14	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Zr}_1\text{Al}_1$	210
実施例 1-15	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Hf}_1\text{Sc}_1$	207
実施例 1-16	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Hf}_3\text{Zr}_1\text{Y}_1$	204
実施例 1-17	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{La}_1$	213
実施例 1-18	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{17}\text{B}_9\text{Mo}_5\text{Ce}_1$	206
実施例 1-19	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{17}\text{B}_9\text{W}_5\text{Pr}_1$	215
実施例 1-20	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{17}\text{B}_9\text{Zr}_5\text{Sm}_1$	208
実施例 1-21	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{16}\text{B}_{10}\text{Hf}_5\text{Eu}_1$	202
実施例 1-22	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{18}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Gd}_1$	213
実施例 1-23	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{19}\text{B}_8\text{Nb}_3\text{Tb}_1$	222
実施例 1-24	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Dy}_1$	214
実施例 1-25	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Ho}_1$	217
実施例 1-26	$\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cr}_1\text{Ti}_1$	217
実施例 1-27	$(\text{Fe}_{0.95}\text{Co}_{0.05})_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cr}_1$	248
実施例 1-28	$(\text{Fe}_{0.95}\text{Co}_{0.05})_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Ta}_3\text{Ru}_1$	257
実施例 1-29	$(\text{Fe}_{0.9}\text{Co}_{0.1})_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Ta}_3\text{Mn}_1$	274
実施例 1-30	$(\text{Fe}_{0.99}\text{Ni}_{0.01})_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Ta}_3\text{Ru}_1$	240
実施例 1-31	$(\text{Fe}_{0.95}\text{Ni}_{0.05})_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{14}\text{B}_9\text{Ta}_3\text{Cr}_1\text{Ru}_1$	239
実施例 1-32	$(\text{Fe}_{0.99}\text{Ni}_{0.01})_{\text{bal}}\text{Cu}_1\text{Si}_{15}\text{B}_9\text{W}_3\text{Ti}_1\text{Ru}_1$	251

10

20

30

40

【0035】

(実施例 2)

実施例 1 と同様にして、内径 15 mm、外形 19 mm の磁心を作製した。この磁心を下記の別の治具に取り付けて熱処理を行った。治具の形状を図 2 に示す。図 1 と同一形状の部材に関しては、同一の図番をつけている。また、実施例 1 と異なり、治具は磁心の外周面よりも若干大きい内周面を持ち、かつ底部が形成された筒状部材 5 を使用した。中心部には固定部材 4 a を通すための穴が形成されている。この筒状部材 5 は、磁心の合金薄帯

50

よりも低い熱膨張係数を有するMo鋼で形成され、熱膨張係数は $5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。

まず、磁心1を筒状部材5の内部に入れ、その後、環状部材3aを磁心1の内径側に挿入した。また、環状部材3aの内周側のテーパ面と、駆動部材2a側面のテーパ面が対向するように両部材を組合せた。その後、固定部材4aの先端側を環状部材3a、駆動部材2a、磁心1および筒状部材5の中心部に貫通させ、最後にナット状の固定部材4bを固定部材4aの先端側に螺着させた。この両固定部材4a、4bにより駆動部材2と環状部材3を軸方向の両側から抑え、離れないようにした。

この治具に磁心を装着した状態で熱処理を行った。熱処理は治具の熱容量による昇温効率も考慮に入れて、Ar雰囲気中、熱処理の初期段階に480で1時間保持した後、530で0.5時間保持し、その後炉冷を行った。高温化に置かれると、駆動部材2aと環状部材3aは熱膨張により軸方向に離れようとするが、低熱膨張部材である固定部材4a、4bにより両端を固定されているため、両部材の重心は徐々に近づいていく。そのため、スリットの入った環状部材は、内径側から駆動部材により押され、徐々に広がっていく。これにより、磁心1の内径側に10MPa~40MPaの圧力がかかり、磁心1が押し広げられる状態になる。また、筒状部材5は磁心1ほど熱膨張しないため、磁心1の熱膨張が物理的に抑制されて磁心1の外内径側にも10MPa~40MPaの圧力がかかる。

このようにして得られた合金の組織は約12nmの平均粒径の結晶粒により占められ、かつ上記の治具を使用しない場合の磁心と比較した場合、B-Hループが傾斜した磁気特性のものが得られる。このB-Hループの傾斜の角度は、実施例1よりも小さいものとする事ができる。

上記実施例で作成した本発明の磁心は、飽和磁界が485A/mであり、占積率は91.1%であった。

【0036】

(実施例3)

実施例1と同様にして、内径15mm、外形19mmの磁心を作製した。この磁心を下記の別の治具に取り付けて熱処理を行った。治具の形状を図3に示す。

図3中、1がアモルファス合金薄帯を巻き回した磁心である。2bは駆動部材であり、内周面がテーパ状の環状に形成されている。また、この駆動部材2bは磁心の合金薄帯よりも高い熱膨張係数を有する材料で形成されている。3bは環状部材であり、外周面には駆動部材2bの内周面と勘合するようにテーパ面が形成されている。また、径方向にスリットが3ヶ所設けられており、環状部材3bに駆動部材2bが近づくほど環状部材3bの径が縮められるように形成されている。環状部材3bの内径は、磁心の外径よりも若干大きい寸法に形成され、JIS規格で規定される鋼材SUS304で製造され、熱膨張係数は $16 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。また、駆動部材2bと環状部材3bの中心部を貫通するように、ボルト状の固定部材4a、ナット状の固定部材4bが備えられる。固定部材4aは、駆動部材2と環状部材3よりも低い熱膨張係数を有するMoで形成され、熱膨張係数は $5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。さらに、中心に固定部材4aを通すための穴が形成された円盤状部材6a、6bが形成され、この円盤状部材はJIS規格で規定される鋼材SUS304で製造され、熱膨張係数は $16 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。また、磁心1の内部には磁心の内径よりも若干小さい外径寸法のSUS304で製造された円筒状部材が備えられる。

まず、磁心1を環状部材3bの内部に入れ、その後、環状部材3bを駆動部材2bにテーパ面同士が相向きになるようにして組合せた。その後、駆動部材2bの下面と環状部材3bの上面から円盤状部材6a、6bを挟むよう併設させた。その後、固定部材4aの先端側を環状部材3b、駆動部材2b、磁心および円盤状部材6a、6bの中心部に貫通させ、最後にナット状の固定部材4bを固定部材4aの先端側に螺着させた。この両固定部材4a、4bにより駆動部材2と環状部材3を円盤状部材6a、6bを介して軸方向の両側から抑え、離れないよう固定した。

この治具に磁心を装着した状態で熱処理を行った。熱処理は治具の熱容量による昇温効率も考慮に入れて、Ar雰囲気中、熱処理の初期段階に480で1時間保持した後、530で0.5時間保持し、その後炉冷を行った。高温化に置かれると、駆動部材2と環状

部材 3 は熱膨張により軸方向に離れようとするが、低熱膨張部材である固定部材 4 a , 4 b により両端を固定されているため、両部材の重心は徐々に近づいていく。

そのため、スリットの入った環状部材 3 b は、外側から駆動部材 2 b により押され、徐々にスリット部分が狭まり、径を小さくしていく。これにより、磁心 1 の外周面に圧力がかかり、磁心 1 が押し縮められる状態になる。また、円盤状部材 6 a , 6 b を挿入しているため、熱膨張による駆動部材 2 b と環状部材 3 b の移動量は大きくなり、より磁心 1 の外周面に 10 MPa ~ 40 MPa の圧力がかかる。

このようにして得られた合金の組織は約 12nm の平均粒径の結晶粒により占められ、かつ上記の治具を使用しない場合の磁心と比較した場合、B-Hループが傾斜した磁気特性のものが得られる。

上記実施例で作成した本発明の磁心は、飽和磁界が 507 A/m であり、占積率は 91.4 % であった。

【0037】

(実施例 4)

実施例 1 と同様にして、内径 15 mm、外形 19 mm の磁心を作製した。この磁心を下記の別の治具に取り付けて熱処理を行った。図 4 は治具の構成を示す図であり、磁心と組合せた場合の磁心の軸に沿った断面を示すものである。

図 4 中、1 がアモルファス合金薄帯を巻き回した磁心である。2 c , 2 d は駆動部材であり、磁心側の面には、磁心とほぼ同じ平均径でありかつ磁心径方向の厚みよりも幅のある V 字状の環状溝 2 1 が形成されている。また、中心部には後述する固定部材が貫通する穴が形成されている。3 c , 3 d は内周面若しくは外周面が磁心の外周面若しくは内周面に接するよう形成され、かつ少なくとも一箇所にスリットが形成された環状部材である。JIS 規格で規定される鋼材 SUS304 で製造され、熱膨張係数は $16 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。環状部材 3 c は外周面の中心が凸になるようにテーパ面が形成され、また、内径が磁心 1 の外径よりも若干大きい寸法に形成されている。また、環状部材 3 d は内周面の中心が凸になるようにテーパ面が形成され、また、外径が磁心 1 の内径よりも若干小さい寸法に形成されている。

また、駆動部材 2 c , 2 d と環状部材 3 c , 3 d の中心部を貫通するように、ボルト状の固定部材 4 a、ナット状の固定部材 4 b が備えられる。固定部材 4 a は、駆動部材 2 c、2 d と環状部材 3 c、3 d よりも低い熱膨張係数を有する Mo で形成され、熱膨張係数は $5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。さらに、中心に固定部材 4 a を通すための穴が形成された円盤状部材 6 が形成され、この円盤状部材は JIS 規格で規定される鋼材 SUS304 で製造され、熱膨張係数は $16 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。

まず、環状部材 3 d が磁心 1 の内側に、環状部材 3 c が外側になるよう、同心円状に配置した。その後、環状部材 3 c , 3 d のテーパ面と駆動部材 2 c , 2 d に形成された V 字状の環状溝 2 1 と合わさるよう組合せた。その後、円盤状部材 6 を駆動部材 2 d の他端面に併設させた。その後、固定部材 4 a の先端側を環状部材 3 c , 3 d、駆動部材 2 c , 2 d、磁心 1 および円盤状部材 6 の中心部に貫通させ、最後にナット状の固定部材 4 b を固定部材 4 a の先端側に螺着させた。この両固定部材 4 a , 4 b により駆動部材 2 c、2 d と環状部材 3 c , 3 d を円盤状部材 6 を介して軸方向の両側から抑え、離れないように固定した。

この治具に磁心を装着した状態で熱処理を行った。熱処理は治具の熱容量による昇温効率も考慮に入れて、Ar 雰囲気中、熱処理の初期段階で 480 で 1 時間保持した後、530 で 0.5 時間保持し、その後炉冷を行った。高温化に置かれると、駆動部材 2 c , 2 d と環状部材 3 c , 3 d は熱膨張により軸方向に離れようとするが、低熱膨張部材である固定部材 4 a , 4 b により両端を固定されているため、両部材の重心は徐々に近づいていく。

そのため、スリットの入った環状部材 2 c , 2 d は、側面を駆動部材により押され、徐々にスリット部分が狭まり、環状部材 2 c は径が小さく、環状部材 2 d は径が実質的に大きくなる。これにより、磁心 1 の内周面および外周面に圧力がかかり、磁心 1 が薄帯の厚

10

20

30

40

50

み方向に押し縮められる状態になる。また、円盤状部材 6 を挿入しているため、熱膨張による駆動部材 2 c , 2 d と環状部材 3 c , 3 d の移動量は大きくなり、より磁心 1 の内周面、外周面に 30 ~ 80 MPa の圧力がかかる。

このようにして得られた合金の組織は約 12nm の平均粒径の結晶粒により占められ、かつ上記の治具を使用しない場合の磁心と比較した場合、B-Hループが傾斜した磁気特性のものが得られる。

上記実施例で作成した本発明の磁心は、飽和磁界が 803 A/m であり、占積率は 92.0 % であった。

【0038】

(実施例 5)

図 5 は、実施例 4 の治具の改良形状である。図 4 と同じ形状のものは同じ番号をつけている。3 e、3 f は内周面若しくは外周面が磁心の外周面若しくは内周面に接するように形成され、かつ少なくとも一箇所にスリットが形成された環状部材である。JIS 規格で規定される鋼材 SUS304 で製造され、熱膨張係数は $16 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。環状部材 3 e は外周面の両端にテーパ面が形成されている。また、環状部材 3 e の内周面は磁心の外径よりも若干大きい軸に平行な面と、その両端に形成されたテーパ面からなる。環状部材 3 f は内周面の両端にテーパ面が形成されている。また、環状部材 3 f の外周面は磁心の内径よりも若干小さい軸に平行な面と、その両端に形成されたテーパ面からなる。7 a , 7 b は磁心と同じ平均径で、かつ磁心の径方向の厚みよりも狭い幅で形成されたリングである。軸方向の一端面は平面であり、他端面は中央が凸になるようテーパ面が形成されている。材質は環状部材 3 e、3 f と同じである。

まず、リング 7 a , 7 b の平面側が磁心の軸方向端面に接するようにリング 7 a , 7 b を配置した。その後、リング 7 a , 7 b のテーパ面と、環状部材 3 e の内周面のテーパ面および環状部材 3 f の外周面のテーパ面が接するように環状部材 3 e、3 f を配置した。その後、環状部材 3 e、3 f のテーパ面と駆動部材 2 e、2 f に形成された V 字状の環状溝 2 1 と合わさるように組合せた。その後、円盤状部材 6 を駆動部材 2 f の他端面に併設させた。その後、固定部材 4 a の先端側を環状部材 3 e、3 f、駆動部材 2 e、2 f、磁心 1 およびリング 7 a、7 b の中心部に貫通させ、最後にナット状の固定部材 4 b を固定部材 4 a の先端側に螺着させた。この両固定部材 4 a、4 b により駆動部材 2 e、2 f と環状部材 3 e、3 f を軸方向の両側から抑え、離れないように固定した。

実施例 4 と異なり、環状部材 3 e と 3 f の距離が縮まることで、リング 7 a、7 b が磁心側に押される。これによって磁心の内周面、外周面に 30 ~ 80 MPa の圧力がかかるだけでなく、軸方向側面にも圧力が付与される。

上記実施例で作成した本発明の磁心は、飽和磁界が 1281 A/m であり、占積率は 92.9 % であった。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図 1】本発明の治具の一形態を示す図である。

【図 2】本発明の治具の別の形態を示す図である。

【図 3】本発明の治具の別の形態を示す図である。

【図 4】本発明の治具の別の形態を示す図である。

【図 5】本発明の治具の別の形態を示す図である。

【図 6】本発明の治具の別の形態を示す図である。

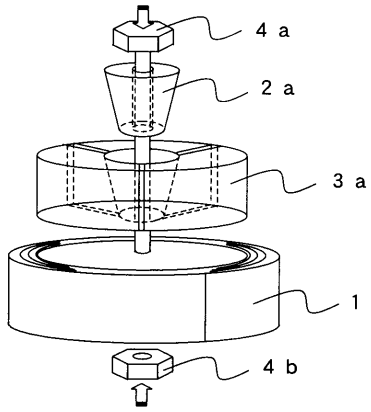
【図 7】本発明の治具の別の形態を示す図である。

【符号の説明】

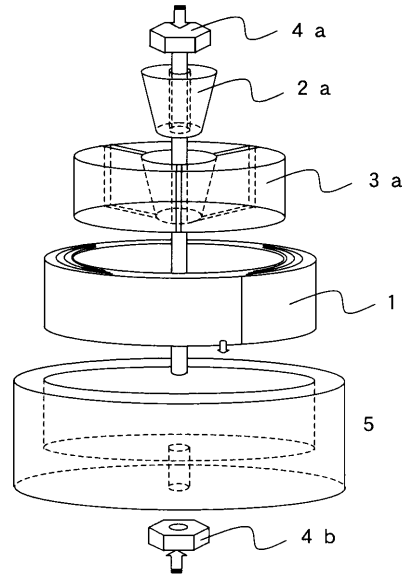
【0040】

1 : 磁心、2 : 駆動部材、3 : 環状部材、4 : 固定部材、7 : リング

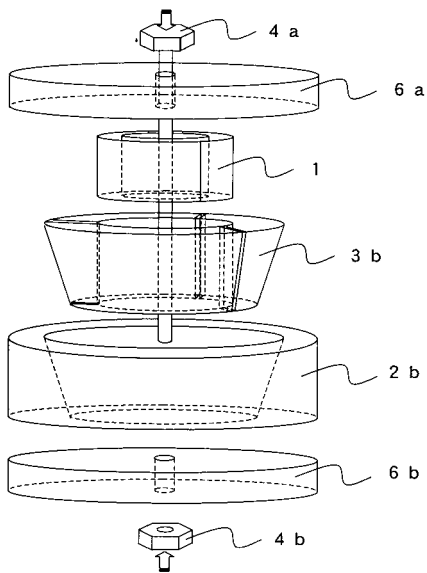
【 図 1 】



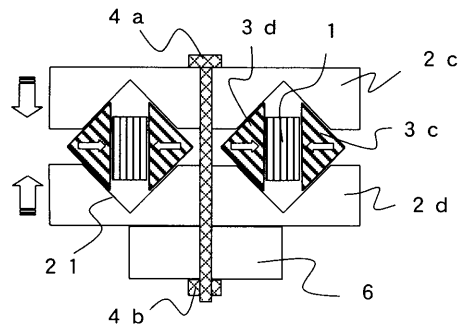
【 図 2 】



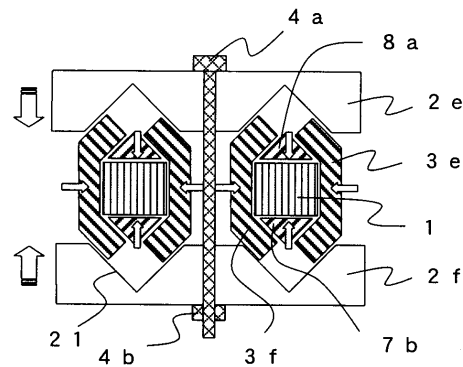
【 図 3 】



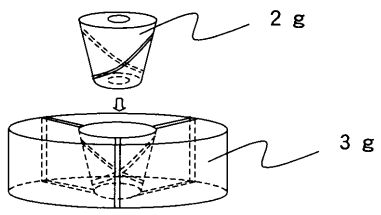
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

